

Ohrozenie účastníkov hromadnej spoločenskej akcie pri bombovom útoku na budovu

Participant Threat of Cultural Event by a Bomb Attack to the Building

Ing. Lucia Figuli, PhD.¹

Ing. Vladimír Kavický^{1,2}

¹Žilinská univerzita, Fakulta špeciálneho inžinierstva
Ul. 1. mája 32, 010 26 Žilina, Slovenská republika

²Ministerstvo Obrany Slovenskej republiky
Kutuzovova 8, 832 47 Bratislava, Slovenská republika
lucia.figuli@fsi.uniza.sk, kavickyv@mod.gov.sk

Abstrakt

Úlohou článku je poukázať na možné ohrozenie osôb zdržujúcich sa v budove menzy Žilinskej univerzity v Žiline, ako miesta stretávania sa členov akademickej obce, ktoré môže byť v budúcnosti cieľom bombového útoku. Osoby môžu byť zranené buď samotnou tlakovou vlnou, alebo od črepín z porušenej budovy. Príspevok pojednáva o hodnotu pretlaku a type, veľkosti a vzdialenosti použitej nálože od budovy, ktoré môžu takýto pretlak vyvolať.

Kľúčové slová

Tlaková vlna, bombový útok, črepinový účinok, odolnosť okien, bezpečnosť.

Abstract

The aim of paper is to show the possible threat of persons in the building of Žilina University canteen where a social event takes place. The building can be a place of the future bomb attack. Person can be injured by the effect of blast wave or by the debris from the damage building. The paper specifies the value of the pressure and type, size and distance of used charge, which can do the pressure.

Keywords

Blast wave, bomb attack, debris, windows resistance, safety.

Úvod

Slovensko je už 25 rokov slobodným demokratickým štátom so svojimi spoločenskými, ekonomickými aj politickými problémami. Jednou z oblastí, ktorá po páde socializmu zvýšila svoje aktivity je aj zneužívanie výbušnín na kriminálne alebo teroristické činnosti. Vzhľadom k aktivitám Slovenska nie je celkom vylúčený útok niektorých z teroristických buniek v Európe ako odplatu za aktivity Slovenska v celosvetovom boji proti terorizmu. Vzhľadom k celospoločenskej atmosfére a postaveniu Slovenska je však skôr predpoklad nárastu radikalizmu či už vo forme pravicových radikálov, náboženského konzervativizmu až fundamentalizmu ale aj aktivít jednotlivcov so snahou bojovať proti nešvárom spoločnosti (ako sú napríklad legalizácia ľahkých drog, registrované partnerstvá partnerov rovnakého pohlavia ale aj boja proti neprispôsobivým občanom alebo príst'ahovalcom). V poslednom období sú takéto útoky osamelých bojovníkov bohužiaľ častejšie a nevyskytujú sa už len v zahraničí, ale dostávajú sa už aj na naše územie. Dňa 28. decembra 2011 na ul. Protifašistických bojovníkov v Košiciach prevádzkou rýchleho občerstvenia McDonald's došlo k explózie nástražného výbušného systému, ktorý iba šťastnou náhodou nezranil zákazníkov prevádzky. Osobným cieľom útočníka bolo upozornenie na zabíjanie zvierat [4].

Cieľom takýchto útokov sa môže stať akademická pôda ako priestor stretávania sa politických prúdov, pokrokových názorov ale aj výrazného liberalizmu. Diskusie o zákaze potratov či naopak o legalizácii ľahkých drog môžu vyvolať v jednotlivcom potrebu zasiahnuť a demonštrovať svoj nesúhlas. Nie je preto vylúčené, že sa akademická pôda stane v budúcnosti terčom útoku osamelého bojovníka. Aktom takéhoto „LONE WOLF“ môže byť aj obyčajná pomsta za neúspech pri vysokoškolskom štúdiu.

Budova univerzitnej menzy Žilinskej univerzity v Žiline je dejiskom rôznych kultúrnych a spoločenských akcií. Pri nedávnych oslavách 60-tého výročia založenia Žilinskej univerzity hostila spoločenské podujatie, kde sa zúčastnilo vyše 600 bývalých a súčasných členov akademickej obce. Budova menzy Žilinskej univerzity je znázornená na obr. 1

Popis objektu

Steny budovy sú tvorené presklením a nosnými stĺpmi. Presklenie je zložené sériou 32 okenných tabúl s dvomi sklami v rámoch tvorených z plastových profilov vystužených pozinkovanou oceľou. Výška sklenenej steny je 354 cm a šírka 704 cm. Keďže v prípade bombového útoku najnáhylejšou časťou stavby na porušenie a následné ohrozenie obyvateľstva sú presklené steny, v ďalších úvahách sa budeme zaoberať výlučne nimi.

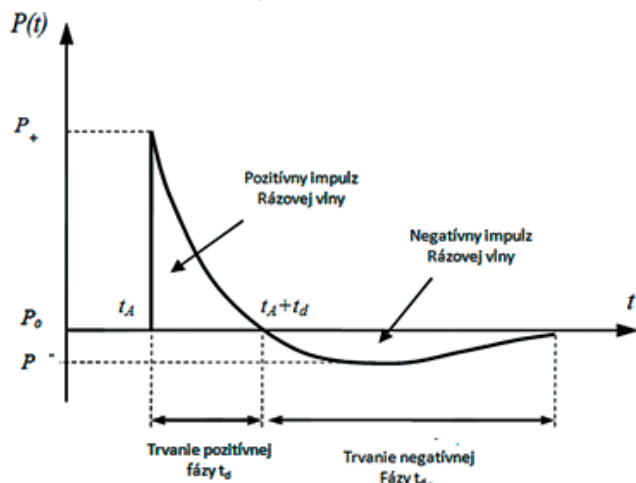


Obr. 1 Okenné tabule skúmanej konštrukcie [foto autor]

Priebeh tlakovej vlny

V prípade iniciovania nástražného výbušného systému, dochádza k veľmi silnej exotermickej reakcii. V priebehu reakcie dochádza k premene tuhej či tekutej zložky výbušniny na vysokotlakový plyn. Produkty vznikajúce pri explózii sa rozširujú do okolia pod vysokým tlakom a snažia sa nájsť rovnováhu

s okolitým prostredím, čo má za následok vznik rázovej vlny. Tá je charakterizovaná zmenou tlaku, hustoty a teploty na jej priečeli. Priebeh rázovej vlny je charakterizovaný prudkým nárastom tlaku na začiatku jej priebehu. Po dosiahnutí maximálnej hodnoty nastáva fáza poklesu, ktorá pokračuje až do zápornej fázy, kedy vzniká na veľmi krátke obdobie vákuum, čo má za následok vŕhovanie pár a vzduchu z prostredia smerom k epicentru výbuchu. Po vyrovnaní síl dochádza k nástupu kladnej časti rázovej vlny ktorá, už však nemá také maximálne hodnoty ako prvý zaznamenaný impulz. Celý priebeh sa vytvára vo veľmi krátkych časových intervaloch, rádovo v stotínach sekundy [2].



- P_0 začiatková (nulová) hodnota tlaku rázovej vlny (tlak okolia)
 P_+ maximálna hodnota tlaku (tzv. pretlak) vyvolaný výbuchom
 P_- minimálna hodnota tlaku (tzv. podtlak - záporná časť) vyvolaná výbuchom
 t_A čas nástupu rázovej vlny
 t_d čas trvania rázovej vlny

Obr. 2 Priebeh a fázy tlakovej vlny [2]

V priebehu rázovej vlny rozoznávame dve fázy - pozitívnu a negatívnu. Veľkosť tlaku negatívnej fázy je oveľa menší ako v predchádzajúcej pozitívnej časti. V analýzach stanovenia odozvy stavebnej konštrukcie pri iniciovaní nástražného systému sa uvažuje z idealizáciou priebehu tlakovej vlny na trojuholníkový priebeh, t.j. lineárna funkcia. V ďalších analýzach sa bude uvažovať s takýmto priebehom.

Porušenie okennej tabule

Pri porušení okna môžu nastať dva prípady. Buď dôjde k rozbitiu skla, alebo k vytrhnutiu celej okennej tabule.

O porušení okenných tabúl pri pôsobení tlakovej vlny rozhoduje dosiahnutie buď medze pevnosti skla za ohybu, alebo uhol lomu okennej tabule. O vytrhnutí celej okennej konštrukcie z tehly, alebo iného materiálu konštrukcie steny rozhoduje spôsob zaistenia šmykovej únosnosti spoja okna so stenou. O vytrhnutí celého okenného krídla rozhoduje smer pôsobenia zaťaženia na okenné krídlo a šmyková pevnosť konštrukcie rámu okenného rámu a ďalej ťahová, popri prípade šmyková alebo ohybová pevnosť závesov podľa usporiadania celej okennej konštrukcie [1].

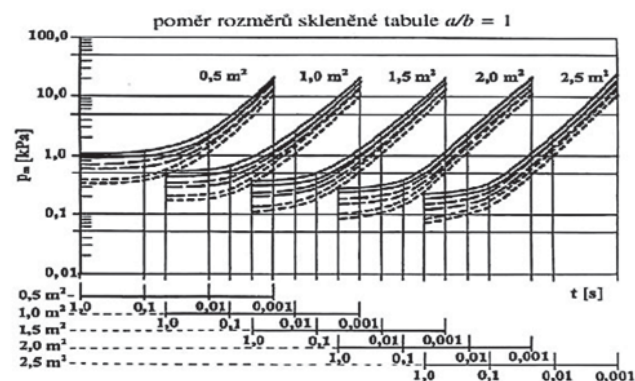
Možným vplyvom na porušenie skla je aj deformácia okenného krídla ohybom. Ak je ohybová únosnosť rámu prekročená, môže dôjsť k lámaniu rámu okenného krídla. Pri veľkých deformáciách teda dôjde k prekročeniu ohybovej únosnosti skla, jej dôsledkom sú vodorovné praskliny v mieste najväčšieho napätia a tým aj k poklesu únosnosti celej okennej tabule [1].

Na to, aký veľký tlak sa vytvorí a bude pôsobiť na konštrukciu pri výbuchu vplyva veľa parametrov. Základným parametrom je typ výbušnej látky, hmotnosť trhaviny a vzdialenosť od budovy. Ďalej je rozhodujúce ako sa tlaková vlna šíri, či priamo kolmo, či ako šikmá vlna, alebo sa odráža od nejakej prekážky, alebo ju obteká.

Pri spomínaných bombových útokoch sa používajú podomácky vyrábané výbušniny. Celosvetový trend je, že sa najčastejšie používajú ANFO trhaviny alebo nitromočovina. Dusičnan amónny je priemyslom vyrábaný v obrovských množstvách a za istých okolností je aj samotný schopný výbuchu. Pri malom množstve pridania paliva prudko vzrastá jeho citlivosť aj výbušnárske vlastnosti. Pre naše skúmanie sme ako náhradu podomácky vyrábanej ANFO trhaviny vybrali štandardne továrenskú vyrábanú DAP - 2, ktorá rovnaké vlastnosti. Trhavina je zmesou dusičnanu amónneho, petroleja a farbiva. Jej detonačná rýchlosť je 2600 - 2700 m/s a výbuchové teplo Q je 3830 kJ/kg. Pri hustote $\rho = 0,65 \text{ g/cm}^3$ je detonačný tlak P_{CJ} na úrovni 2,95 GPa.

Stanoviť maximálnu hodnotu pretlaku takejto okennej tabule môžeme teda stanoviť dvomi spôsobmi. Pri poznaní presných mechanických vlastností použitého skla, výpočtom jeho medznej pevnosti, teda ohybovej odolnosti, alebo ako bolo spomenuté uhol lomu okennej tabule. V našom prípade nepoznáme presné mechanické vlastnosti použitého skla a preto budeme postupovať podľa [1].

Okamih porušenia okennej tabule je možné odhadnúť z monogramov (obr. 2) zostavených na základe experimentálnej a teoretickej analýzy okenných skiel pri zaťažení trojuholníkovým pretlakom vzdušnej rázovej vlny. Veľkosť maximálneho pretlaku závisí od veľkosti plochy skla, veku skla (rozlišuje sa nové a staré sklo, 10 ročné), hrúbke skla a od dĺžky trvania pretlaku. V našom prípade pre sklenenú tabuľu 85 x 85 cm (t.j. 0,7225 m²), predpokladáme 10 ročné sklo, hrúbky 3 mm. Pri použití hore uvedenej trhaviny DAP 2 so spomínanými vlastnosťami, s uvažovaním vzdialenosti okennej tabule od centra výbuchu 1 m a hmotnosť nálože 0,5 kg, dĺžku pretlaku stanovíme výpočtom na 0,0015 s. Z grafu (obr. 2) na základe uvedených hodnôt stanovíme veľkosť pretlaku rázovej vlny, ktorá je približne 10,0 kPa. Výbuch o veľkosti 10,0 kPa spôsobí porušenie daného hladkého skla.



Obr. 2 Medza porušenia okenného skla [1]

Hore uvedeným postupom, sme získali maximálny tlak, aký prenesú analyzované okenné tabule. Pre navrhnutie možnej ochrany objektu a ľudí, je potrebné zistiť, aký typ trhaviny, o akej hmotnosti a v akej vzdialenosti spôsobí takýto výbuch. Na stanovenie pevnosti existujú viaceré prístupy od rôznych autorov. My uvedieme postup podľa Millsa [2]:

$$P = \frac{1,772}{z^3} + \frac{114}{z^2} + \frac{108}{z} - 0,019 \quad (1)$$

Do výpočtu vstupuje zákon tretej odmocniny, ktorý zavádza tzv. redukovanú vzdialenosť z , kde R je vzdialenosť od centra výbuchu a W_R je redukovaná hmotnosť nálože:

$$z = \frac{R}{\sqrt[3]{W_R}} \quad (2)$$

Pri stanovení maximálneho tlaku cca 10 kPa, pri spätnom dosadení do vzorcov (1, 2) dostávame, že tlak 10 kPa na okennú tabuľu vyvinie 0,5 kg trhavy DAP 2 vo vzdialenosti 10 m. Vzdialenosť nálože od konštrukcie je veľmi rozhodujúca. Z tab. 1 je zrejme, že čím bližší zdroj výbuchu je, tým väčší tlak na konštrukciu je vyvolaný. Pri veľmi blízkej vzdialenosti tlak markantne narastá. V druhej časti tabuľky je znázornená závislosť veľkosti tlaku od hmotnosti. Z uvedených hodnôt vyplýva, že pre zaistenie ničivého účinku trhavy, je to možné aj pri malom množstve trhavy, ak je v blízkej vzdialenosti pri konštrukcii.

Tab. 1 Vplyv zmeny tlaku výbušného systému v závislosti na vzdialenosti a hmotnosti nálože [zdroj autori]

Vzdialenosť [m]	10	8	6	4	2	1	0,1
Tlak [kPa]	9,77	13,00	19,45	37,60	159,42	958,58	815532,00

Hmotnosť [kg]	0,5	1,0	1,5	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0
Tlak [kPa]	9,77	13,14	15078,00	1801,00	25,77	32,27	38,14	43,67

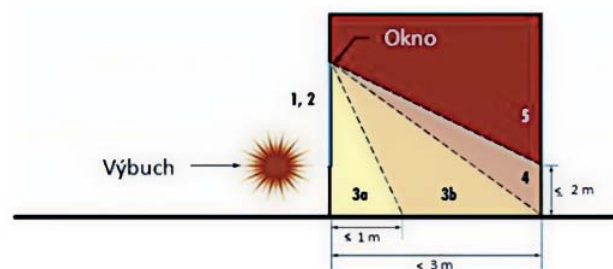
Tak ako aj okenné tabule, tak aj okenné rámy boli experimentálne overené. Pre odhad únosnosti okenných rámov bola zostavená tab. 1 [1].

Tab. 2 Poškodenie budov pri rôznych pôsobiacich tlakoch [1]

Tlak [kPa]	Účinok
do 0,5	Žiadne poškodenie
0,5 - 1	Malé poškodenie okenných výplní (len časť, praskliny skiel bez vysypania trosiek atď.)
1 - 2	Väčšie poškodenie okenných výplní, čiastočné vysypanie trosiek skiel)
2 - 5	Čiastočné poškodenie rámov dverí a okien, porušenie omietky a vnútorných drevených priečok
5 - 20	Zničené okien, poškodenie ľahkých stavieb a bežných murovaných konštrukcií
10 - 30	Čiastočné rozrušenie stavieb prevažne prízemné zástavby rodinných domov
20 - 30	Značné rozrušenie mestských viacpodlažných stavieb

Zranenie osôb

V predchádzajúcich výpočtoch, tlak potrebný na zničenie okien bol stanovený na hodnotu 10 kPa. Z tab. 3, vyplýva, že pri hodnote okolo 15 kPa dôjde k zvaleniu stojacej osoby. Keďže predpokladáme, osoby zdržujúce sa v priestoroch menzy pri okenných tabuliach, osoby budú poškodené sekundárne, odletujúcimi črepinami z okien. Keďže konštrukcia neodoláva dostatočne a dôjde k jej deštrukcii a porušeniu štruktúry, znásobuje sa vznik fragmentov, ktoré v smere pôsobenia rázovej vlny prenikajú do priestoru a predstavujú tak priame ohrozenie pre zasiahnuté osoby. Zvlášť nebezpečné sú malé pretlaky v rozmedzí 5 až 20 kPa, pri ktorých je veľmi pravdepodobné poranenie osôb troskami lietajúcimi (na veľké vzdialenosti desiatok až stoviek metrov) rozbitých sklenených výplní okien a dverí, pri tomto tlaku nie sú trosky zrazené k zemi, ale plachtia [1]. Pôsobením rázovej vlny s následným porušením integrity okennej výplne vznikajú veľmi ostré fragmenty rôznych veľkostí, ktoré sú schopné pôsobiť na pomerne rozsiahlom území. Lietajúce črepiny skla najčastejšie spôsobujú tržné zranenia alebo prenikajú ľudským telom, ktoré nie je schopné odolať takémuto druhu pôsobenia. Väčšie črepinové predmety, pochádzajúce z poškodených stavebných materiálov spôsobujú z pravidla devastačné poranenia spôsobené kombináciou váhy a rýchlosti daného telesa [3].



Obr. 3 Oblasti rôznych stupňov zranení spôsobených črepinami rozbitého skla [3]

Na stanovenie možnosti vzniku zranení spôsobených fragmentmi skla možno použiť stupnicu vznikajúcich zranení z pohľadu materiálu a spôsobu riešenia okennej výplne. Stupnica má niekoľko bodových stupňov. Rozdiel medzi stupňom 3a - 3b predstavuje hraničnú úroveň vzniku zranenia, kde vážnosť bodu 3b vyvodzuje predpoklad vzniku zranení osôb vystavených pôsobeniu črepín vznikajúcich z okenných výplní. Ďalšiu úroveň môžeme stanoviť v mieste medzi bodmi 4 - 5, kedy sa u osôb umiestnených v mieste označenom bodom 5 vyskytujú veľmi vážne, ba dokonca smrteľné poranenia [3].

Tab. 3 Zranenie osôb pri rôznych pôsobiacich tlakoch

Skupina zraniteľnosti	Pretlak P [kPa]	Popis zranenia	
0	menej ako 10	Zranenie od priameho pôsobenia tlakovej vlny je nepravdepodobné	
1	10 až 30	Ľahké úrazy osôb	Pri pretlaku cca 15 kPa dôjde k zvaleniu stojacej osoby Pri pretlaku cca 34 kPa dôjde k prasknutiu ušných bubienkov
2	30 až 150	Ťažké úrazy osôb	
3	150 až 200	Smrteľné zranenia	

Záver

Pri stanovení maximálneho zaťaženia tlakom, ktoré prenesú okná na budove Menzy Žilinskej univerzity, sme dospeli k rôznym čiastkovým záverom. Hodnota pretlaku vyvolaného výbuchom 10 kPa, ktorému odolajú okenné tabule je nízka. Takýto tlak sám o sebe, neprinesie veľmi vážne poškodenie osôb. Osoby budú ale aj napriek tomu to tvrdeniu, vážne ohrozené a zranené z dôvodu sekundárnych účinkov fragmentov z rozbitého skla. Tlak 10 kPa dokáže vyvinúť už nálož DAP 2 o hmotnosti 0,5kg pri vzdialenosti 10 m od budovy. Pre ochranu obyvateľstva a budovy by bolo potrebné urobiť účinné opatrenia na zabránenie katastrofálnych dôsledkov a to, zvýšiť pevnosť okenných tabuľ, zabránenie sa dostania k bezprostrednej blízkosti sa okien.

Použitá literatúra

- [1] Makovička, D.; Makovička, D.: *Odezva konštrukcie budovy a ohrozenie jejich obyvateľ výbuchom plynu*, str. 197 - 202, Stavební obzor 7/2006.
- [2] Jangl, Š.; Kavický, V.: *Ochrana pred účinkami výbuchov výbušnín a nástražných výbušných systémov*. Žilina 2012 ISBN 978-80-971108-0-2 str. 93 a 94.
- [3] Vysocký, M.: *Odolnosť materiálov proti nástražným výbušným systémom*, Diplomová práca, Žilinská univerzita, Fakulta špeciálneho inžinierstva, Žilina 2012.
- [4] Dostupné na: <http://kosice.korzar.sme.sk/c/6840390/kosickeho-teroristu-odsudili-na-25-rokov-vazenia.html#xz2pVvOFrVc>.